



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】光源からの光に基づいて投影原版上のパターンを感光基板上の感光面に転写する露光装置に用いられ、前記光源と前記投影原版との間に配置される視野絞りの像を前記投影原版上へ投影する視野絞り投影光学系であって、1枚の凹面鏡と1つ以上の屈折光学部材とを有することを特徴とする視野絞り投影光学系。

【請求項2】前記凹面鏡と前記屈折光学部材とは共軸に配置されることを特徴とする請求項1記載の視野絞り投影光学系。

【請求項3】前記視野絞り投影光学系はほぼ等倍の投影倍率を有し、前記凹面鏡に入射する往路の光束と前記凹面鏡で反射される復路の光束とは、全ての前記屈折光学部材を通過することを特徴とする請求項1又は2記載の視野絞り投影光学系。

【請求項4】前記1つ以上の屈折光学部材は、正屈折力のレンズ群と、該正屈折力のレンズ群と前記凹面鏡との間に配置された負屈折力のレンズ群とを有することを特徴とする請求項1乃至3の何れか一項記載の視野絞り投影光学系。

【請求項5】前記視野絞りから前記凹面反射鏡までの光路と、前記凹面鏡から前記投影原版までの光路とのうちの、少なくとも何れか一方の光路には、該光路を折り曲げるための反射面が配置されることを特徴とする請求項1乃至4の何れか一項記載の視野絞り投影光学系。

【請求項6】光源と、該光源からの光に基づいて所定面上を均一に照明する照明光学系と、前記所定面上に配置される視野絞りの像を投影原版上へ投影する視野絞り投影光学系とを備え、前記視野絞り投影光学系からの光に基づいて前記投影原版上のパターンを感光基板上の感光面に転写する露光装置であって、前記視野絞り投影光学系として、請求項1～5の何れか一項記載の視野絞り投影光学系を用いたことを特徴とする露光装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は投影露光装置に関し、特に半導体集積回路の製造工程中の投影露光工程に使用される投影露光装置に関し、更に詳しくは、視野絞りの像を投影原版のパターン面に投影する視野絞り投影光学系に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】半導体集積回路の製造工程のうちの投影露光工程では、マスク、レチクルなどの投影原版上のパターンを照明光学系によって照明し、パターンを通過した光束を投影光学系によってウエハ、ガラスプレートなどの感光基板の感光面（被露光面）上に投影して転写する投影露光装置が用いられている。この露光装置において、視野絞りは、マスクやウエハ上には直接配置されず、視野絞り投影光学系（リレー光学系）を介して、視

野絞りをマスク上に投影するのが普通である。このような構造を採用する理由は、以下の2つによる。

【0003】第1の理由は、露光範囲の寸法を可変とするために、視野絞りを可動とする必要があり、視野絞りを可動とすると多少の発塵はどうしても抑え切れないから、可変視野絞りをマスクやウエハから離隔した位置に配置する必要があるからである。半導体集積回路の製造分野においては、一般にパターン寸法がこれらの塵よりも微細であり、マスクやウエハの近傍での発塵は、半導体製品の不良発生の原因となりうる。

【0004】第2の理由は、同じく視野絞りが可動のために、視野絞りをマスク上やウエハ上に密着して配置することができず、多少のボケを生じるためである。すなわち、複数のパターンを一枚のマスク上に形成する際に、視野絞りにボケがあると、パターン間をその分だけ離さざるを得ないから、マスクの面積を有効に使用できないこととなる。

【0005】そこで一般に、視野絞りはマスクの手前側に配置され、視野絞り投影光学系によって、視野絞りの像をマスク上に投影している。この場合、空間的にはマスクとは全く異なる場所に視野絞りを配しながら、光学的にはマスクの場所にマスクと視野絞りとを配置したのと等価の状態が得られる。この視野絞り投影光学系として、従来は、レンズのみによって構成される屈折系の視野絞り投影光学系が使用されていた。一般に視野絞り投影光学系には、収差が少ないことのほかに、物体側（視野絞り側）と像側（マスク側）の双方にほぼテレセントリックであることが求められ、これらの要請を満たすために、従来の屈折系の視野絞り投影光学系の使用レンズ枚数は、8枚程度となっていた。

## 【0006】

【発明が解決しようとする課題】さて、投影露光装置の限界解像力は、おおよそ、

$$\lambda / NA \quad (\lambda: \text{波長}, NA: \text{開口数})$$

に比例する。そのため、この種の露光装置には常に、より短い波長の光源を使用することと、より大きなNAを持つ光学系を採用することが要求されている。特に、短波長化については、大NA化に比較して、焦点深度を狭くする度合いが少ないことから、その要求が強い。

【0007】ところが、波長が200nmを割り、更に170nmを割り込むと、その波長を透過する硝材が極端に少なくなり、又、その数少ない硝材もあまり大きな透過率を持たない。更に、レンズ表面に蒸着される反射防止膜についても、膜材料が少なくなることや、短波長化に伴い膜厚の公差が厳しくなることなどから、良好な設計解を得ることが困難になり、さらに設計解通りの性能を持つ製品を製造することが困難になり、透過率を上げる効果が低減する。更に、硝材の表面荒れによる光の散乱量は、おおよそ波長の2乗に反比例するため、露光装置において光源の短波長化は困難を極める。

【0008】そのため、短波長、特に200nm～170nm以下の波長を用いる露光装置において、光学系の設計解には、とにかく先ずレンズ枚数の低減が要求される。また、露光装置用の硝材は、短波長用になればなるほど一般に高価になる。したがって装置全体の価格を下げる意味でも、レンズ枚数を極力減らした設計解が望まれる。そこで本発明は、視野絞りの像をマスク上に投影する視野絞り投影光学系に特に着目し、レンズ枚数が少ない視野絞り投影光学系を提供することを課題とする。

【0009】

【課題を解決するための手段】上記課題を解決するために、本発明では、視野絞り投影光学系として、1枚の凹面鏡と1つ以上の屈折光学部材とを用いた、反射屈折型の視野絞り投影光学系を提案する。すなわち、本発明は、光源からの光に基づいて投影原版上のパターンを感光基板上の感光面に転写する露光装置に用いられ、前記光源と前記投影原版との間に配置される視野絞りの像を前記投影原版上へ投影する視野絞り投影光学系であって、1枚の凹面鏡と1つ以上の屈折光学部材とを有することを特徴とする視野絞り投影光学系である。このように凹面鏡を用いることで、屈折光学部材の数（レンズ枚数）を大幅に減らすことが可能となり、光源の短波長化に対応することができ、露光装置の解像力の向上に非常に寄与する。

【0010】なお、上記構成において、さらなる透過率の向上を達成するためには、前記1つ以上の屈折光学部材を1枚の正レンズとすることが好ましい。また、上記構成において、前記凹面鏡と前記屈折光学部材とを共軸に配置すれば、視野絞り投影光学系の製造を容易に高精度化することができる。この場合、1つ以上の屈折光学部材のうちの全ての屈折光学部材を共軸に配置することによって、さらなる効果が期待できる。

【0011】また、上記構成において、凹面鏡に入射する往路の光束と凹面鏡で反射される復路の光束とか、全ての前記屈折光学部材を通過するようにした場合には、視野絞り投影光学系が凹面鏡を挟んで対称な構成となるため、比較的簡単な構成で結像性能の向上を図ることができる。

【0012】さて、凹面鏡を用いた光学系は、収差補正が可能な範囲が狭いことから、他のレンズ配置に自由度が少なくなりがちである。視野絞り投影光学系で特に問題となるのは、視野絞りから視野絞り投影光学系までの間隔と、視野絞り投影光学系から投影原版までの間隔である。これらの間隔が十分に長くないと、光学設計は可能であっても、その他の機械的な機構が組み込めず、装置として成り立たない場合がありうる。そのため、本発明の好ましい態様では、視野絞りから視野絞り投影光学系までの間隔と、視野絞り投影光学系から投影原版までの間隔を極力長くする手段も提案する。

【0013】具体的には、視野絞りから凹面鏡までの間

に、正屈折力を持つレンズ群と、負屈折力を持つレンズ群とを、この順で配置する。その際、正屈折力のレンズ群として単に1枚の正レンズを用い、負屈折力のレンズ群として単に1枚の負レンズを用いることによって、十分に所望の効果を得ることかできる。また、視野絞りから凹面反射鏡までの光路と、凹面鏡から投影原版までの光路とのうちの、少なくとも何れか一方の光路には、この光路を折り曲げるための反射面が配置されることが好ましい。この場合、視野絞り周りの機械的な機構と投影原版周りの機械的な機構の組み込みの自由度や装置全体の光路の引き回しの自由度を向上させることができる。ここで、光路を折り曲げるための反射面は、1つ以上の屈折光学部材のうち凹面鏡から最も離れた位置に配置される屈折光学部材と視野絞りとの間の光路と、1つ以上の屈折光学部材のうち凹面鏡から最も離れた位置に配置される屈折光学部材と投影原版との間の光路とのうちの少なくとも一方に配置されることが好ましい。この構成により、視野絞りの周りの機械的な機構と投影原版周りの機械的な機構の組み込みの自由度をさらに向上させることができる。

【0014】また、上述の構成のいずれかにおいて、視野絞り投影光学系の光学面のうち、少なくとも1つの光学面は非球面形状であることが好ましい。これにより、屈折光学部材の使用枚数をさらに減らすことができ、視野絞り投影光学系自体の透過率向上を図れ、ひいては光量ロスをさらに低減できる。また、本発明に係る露光装置は、光源と、該光源からの光に基づいて所定面上を均一に照明する照明光学系と、前記所定面上に配置される視野絞りの像を投影原版上へ投影する視野絞り投影光学系とを備え、前記視野絞り投影光学系からの光に基づいて前記投影原版上のパターンを感光基板上の感光面に転写する露光装置であって、前記視野絞り投影光学系として、上述の構成の何れかにかかる視野絞り投影光学系を用いたことを特徴とする露光装置である。

【0015】この構成において、光源が供給する光の波長は180nm以下であることが好ましい。また、本発明にかかる露光方法は、光源からの光を所定形状の開口を有する視野絞りへ導く第1ステップと、該視野絞りの開口を経た光を少なくとも1つの屈折光学部材と凹面鏡とを介して投影原版へ導く第2ステップと、該投影原版へ導かれた光に基づいて前記投影原版上のパターンを感光基板上の感光面に転写する第3ステップとを含み、第2ステップでは、前記視野絞りの開口の像を前記投影原版上に形成することを特徴とする露光方法である。

【0016】この露光方法において、第2ステップは、前記視野絞りの開口を経た光を、前記少なくとも1つの屈折光学部材を通過させる第1サブステップと前記屈折光学部材を通過した光を前記凹面鏡で反射させる第2サブステップと前記凹面鏡で反射された光を、前記屈折光学部材を再び通過させる第3サブステップとを含むこと

が好ましい。また、上記露光方法の何れかにおいて、前記光源は180nm以下の波長の光を供給することが好ましい。

#### 【0017】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を図面によって説明する。図1は、本発明による投影露光装置の第1実施例を示す。光源1を発した光束は、整形光学系2を通過した後に、折り曲げミラー3を経て、複数の要素レンズを並列に配置して構成される第1のフライアイレンズ4に入射する。第1のフライアイレンズ4に入射した光束は、要素レンズを単位にして波面分割されて、それぞれ光源1の像を形成する。第1のフライアイレンズ4によって形成される個々の光源像を通過した光束群は、第1のコンデンサーレンズ5により、第2のフライアイレンズ6の入射面上で重ね合わされる。第2のフライアイレンズ6により更に波面分割された光束群は、第2のフライアイレンズ6の個々の要素レンズの射出面の近傍に、第1のフライアイレンズによって形成された複数の光源像の再結像を形成する。こうして第2のフライアイレンズ6の射出面の近傍には、第1のフライアイレンズ4の要素レンズの個数と、第2のフライアイレンズ6の要素レンズの個数との積だけ、光源1の像が形成される。

【0018】この第2のフライアイレンズ6の射出面の近傍には、照明系開口絞り7が配置されている。照明系開口絞り7により光束径を制限された光束は、その後、第2のコンデンサーレンズ8により、視野絞りBの面上で重ね合わされる。視野絞りBの面上に集まった光束は、視野絞り投影光学系10と平面鏡11とを通過して、マスクM上に伝達される。マスクMのパターンを通過した光束は、主投影光学系12を介して、感光基板の感光面（被露光面）13上にパターンを投影する。主投影光学系12中には、この主投影光学系のNAを決定する投影系開口絞り14が配されている。

【0019】図1に示すように、本実施例の視野絞り投

影光学系10は、正レンズLpと凹面鏡Mcからなり、凹面鏡Mcに入射する往路の光束と、凹面鏡Mcで反射する復路の光束は、共に正レンズLpを通過し、すなわち正レンズLpは往復光学系となっている。また図2に、視野絞り投影光学系10の光路図を示す。但し視野絞りBからマスクMまでの光路のうち、平面鏡11は除外している。

【0020】以下の表1に、平面鏡11を除外した視野絞り投影光学系10の諸元を掲げる。表1の「光学部材諸元」中、第1欄Noは視野絞りB側からの各光学面の番号、第2欄rは各光学面の曲率半径、第3欄dは各光学面から次の光学面までの光軸上の距離、第4欄nは各光学面から次の光学面までを満たす媒質の屈折率（空欄はn=1）、第5欄は各光学面の記号又は各光学面から次の光学面までを満たす光学部材の番号を示す。曲率半径rと光軸上の距離dは、光の進行方向を正とするが、1回反射することにより正負を逆転して表示している。

【0021】表1の例では、一部の光学面には非球面が用いられており、非球面の形状は、以下の(a)式で表現している。

$$(a) \quad x = (y^2/r) / [1 + \{(1+\kappa)y^2/r^2\}^{1/2}] + ay^4 + by^6 + cy^8 + dy^{10}$$

y：光軸からの高さ

x：高さyでの非球面頂点での接平面から非球面までの光軸方向の距離

r：頂点曲率半径

κ：円錐係数

a, b, c, d：非球面係数

表1の「非球面データ」に、非球面を用いた光学面の番号と、非球面係数a～dの値を示す。なお、非球面についての「光学部材諸元」中の曲率半径rは、非球面頂点での曲率半径である。

#### 【0022】

##### 【表1】

##### 【主要諸元】

結像倍率：×1

照野（マスク上）：100mm×20mm

照野中心の光軸からの高さ（シフト量）：50mm

NA（マスク上）：0.15

両側テレセントリック光学系

##### 【光学部材諸元（単位：mm）】

No	r	d	n	0	—	127.0	B	1	3829.394
30.0	1.56	Lp	2	-356.101	700.0				
3	-884.102	-700.0		Mc	4	-356.101	-30.0	1.56	Lp
829.394	-127.2								
6	∞								M

##### 【非球面データ】

No=2(4)	κ=0	a=2.52483×10 <sup>-4</sup>	b=8.65565×10 <sup>-9</sup>
	c=-4.21963×10 <sup>-13</sup>	d=1.78834×10 <sup>-17</sup>	

【0023】次に、第2実施例の投影露光装置に係る視野絞り投影光学系10について説明する。視野絞り投影光学系10とマスクMとの間には、通常マスクMを交換するためのロボットアームなどが配される。そのため、この間隔は極力長いことが望まれる。この第2実施例は、第1実施例に比較して、視野絞り投影光学系10とマスクMとの間隔を長くしたものであり、図3と表2に、平面鏡11を除外した視野絞り投影光学系10の光路図と諸元を示す。図3と表2に示されるように、視野絞りBから凹面鏡M<sub>C</sub>までの間に、正の屈折力を有するレンズ系L<sub>p</sub>と、負の屈折力を有するレンズ系L<sub>N</sub>をこの

順で配することにより、視野絞り投影光学系10とマスクMとの間隔を広げた設計解が得られる。

【0024】表2の例では、一部の光学面には非球面が用いられており、非球面の形状は、上記(a)式で表現している。表2の「非球面データ」に、非球面を用いた光学面の番号と、非球面係数a～dの値を示す。なお、非球面についての「光学部材諸元」中の曲率半径rは、非球面頂点での曲率半径である。

【0025】

【表2】

〔主要諸元〕

結像倍率：×1

照野（マスク上）：100mm×20mm

照野中心の光軸からの高さ（シフト量）：50mm

NA（マスク上）：0.15

両側テレセントリック光学系

〔光学部材諸元（単位：mm）〕

No	r	d	n	0	—	260.0	B 1	445.9
84	55.0	1.56	L <sub>p</sub> 2	449.384	100.0			
3	250.0	30.0	1.56	L <sub>N</sub> 4	216.845	374.681		
5	-942.764	-374.681		M <sub>C</sub> 6	216.845	-30.0	1.56	L <sub>N</sub> 7
	250.0	-100.0						
8	449.384	-55.0	1.56	L <sub>p</sub> 9	445.984	-260.0		
10	∞			M				

〔非球面データ〕

No=2(8)	κ=0	a=-1.7414×10 <sup>-3</sup>	b=2.3988×10 <sup>-9</sup>
	c=-1.1883×10 <sup>-14</sup>	d=2.049×10 <sup>-19</sup>	

次に第3実施例の投影露光装置に係る視野絞り投影光学系10について説明する。上述の第1及び第2実施例の視野絞り投影光学系10では、凹面鏡M<sub>C</sub>の位置が瞳面、すなわち凹面鏡M<sub>C</sub>の位置で主光線が光軸と交差していたが、このような場合では凹面鏡M<sub>C</sub>の反射面上に光スポットの集合体からなる光源像が形成されて、凹面鏡M<sub>C</sub>上で部分的にエネルギー密度が高くなり、凹面鏡M<sub>C</sub>、特に反射膜の損傷を招く恐れがある。

【0026】第3実施例の視野絞り投影光学系10では、第2実施例の視野絞り投影光学系10の構成を基本として、レンズ系L<sub>p</sub>、L<sub>N</sub>及び凹面鏡M<sub>C</sub>と共軸な付加レンズ系L<sub>A</sub>を設けて、その瞳面を凹面鏡M<sub>C</sub>の位置とは異なる空間としたものである。図4と表3に、平面鏡11を除外した視野絞り投影光学系10の光路図と諸元を

示す。図4と表3に示されるように、凹面鏡M<sub>C</sub>から視野絞りBまでの間に負の屈折力を有するレンズ系L<sub>N</sub>と、正の屈折力を有するレンズ系L<sub>p</sub>と、付加レンズ系L<sub>A</sub>とがこの順で配置されている。

【0027】この第3実施例においては、一部の光学面には非球面が用いられており、第3実施例における非球面の形状は上記(a)式で表現している。

【0028】表3の「非球面データ」に、非球面を用いた光学面の番号と、非球面係数A～Dの値を示す。なお、非球面についての「光学部材諸元」中の曲率半径rは、非球面頂点での曲率半径である。

【0029】

【表3】

〔全体諸元〕

結像倍率：×1

照野（マスク上）：100×20mm

照野中心の光軸からの高さ（シフト量）：50mm

NA（マスク上）：0.15

両側テレセントリック光学系

〔光学部材諸元（単位：mm）〕

No	r	d	n
----	---	---	---

0	$\infty$	260.0	B 1	463.739	55.0	1.56	Lp
2	-998.728	100.0					
3	250.000	30.0	1.56	L <sub>N</sub>			
4	218.640	388.2					
5	-1015.813	-388.2					
6	218.640	-30.0	1.56	L <sub>N</sub>			
7	250.000	-100.0					
8	-998.728	-55.0	1.56	Lp			
9	463.739	-287.4					
10	-7113.284	-15.0	1.56	L <sub>A</sub>			
11	3424.938	-30.0					
12	$\infty$						

[非球面データ]

$$N o = 2(8) \quad \kappa = 0 \quad a = -0.644220 \times 10^{-08} \quad b = 0.295384 \times 10^{-12} \\ c = -0.752128 \times 10^{-17} \quad d = 0.913397 \times 10^{-22}$$

図4の光路図からも明らかなように、本実施例では凹面鏡M<sub>C</sub>から外れた位置で主光線が光軸と交差している、すなわち光源像が凹面鏡M<sub>C</sub>の反射面上ではなく、反射面から外れた位置に形成される。従って、本実施例では、エネルギー密度の高い光源像が反射面上に形成されないため反射面の損傷を少なくすることができる利点がある。なお、本実施例の視野絞り投影光学系の結像倍率は等倍であるが、これを拡大倍率、あるいは縮小倍率としても良いことは言うまでもない。

【0030】以上のように本発明では、視野絞り投影光学系10として反射屈折系を採用している。そこで、比較例として、屈折系のみによって視野絞り投影光学系を

構成した場合の設計例を、図5と以下の表4に示す。図2～図4と、図5とを比較すれば、反射屈折系を採用することにより、使用レンズ枚数を著しく低減できることが分かる。表4の比較例では、一部の光学面には非球面が用いられており、非球面の形状は、上記(a)式で表現している。表4の[非球面データ]に、非球面を用いた光学面の番号と、非球面係数a～dの値を示す。なお、非球面についての[光学部材諸元]中の曲率半径rは、非球面頂点での曲率半径である。

【0031】

【表4】

[全体諸元]

結像倍率：×2.5

照野（マスク上）：100mm×20mm

NA（マスク上）：0.15

両側テレセントリック光学系

[光学部材諸元（単位：mm）]

No	r	d	n					
0	—	74.5		B 1	-81.780	35.0	1.56	L <sub>1</sub> 2
-156.633	1.0							
3	1150.140	40.0	1.56	L <sub>2</sub> 4	-195.456	1.0		
5	470.617	40.0	1.56	L <sub>3</sub> 6	-265.264	1.0		
7	166.203	40.0	1.56	L <sub>4</sub> 8	-10060.832	1.0		
9	178.386	91.4	1.56	L <sub>5</sub> 10	62.905	70.0		
11	-64.889	51.2	1.56	L <sub>6</sub> 12	-165.972	1.0		
13	469.064	45.0	1.56	L <sub>7</sub> 14	-256.017	119.3		
15	574.024	50.0	1.56	L <sub>8</sub> 16	-216.452	338.7		
17	$\infty$			M				

[非球面データ]

$$N o = 2 \quad \kappa = 0 \quad a = 1.63718 \times 10^{-4} \quad b = 4.90311 \times 10^{-8} \\ c = 7.6887 \times 10^{-12} \quad d = 3.9839 \times 10^{-16} \\ N o = 9 \quad \kappa = 0 \quad a = 4.47367 \times 10^{-4} \quad b = -3.03757 \times 10^{-8} \\ c = 1.51906 \times 10^{-14} \quad d = -2.50166 \times 10^{-16} \\ N o = 12 \quad \kappa = 0 \quad a = 3.32314 \times 10^{-4} \quad b = 2.61039 \times 10^{-8}$$

$$\begin{aligned} c &= 2.82995 \times 10^{-12} & d &= 1.73093 \times 10^{-16} \\ \text{No}=15 \quad \kappa &= 0 & a &= -3.049602 \times 10^{-4} & b &= -2.70943 \times 10^{-8} \\ c &= 1.39524 \times 10^{-13} & d &= -7.1172 \times 10^{-18} \end{aligned}$$

【0032】なお図1に示す第1実施例では、凹面鏡M<sub>C</sub>で反射する復路の光束の光路に平面鏡11を配置して、復路の光路を折り曲げたが、図6に示すように、凹面鏡M<sub>C</sub>に入射する往路の光束の光路に平面鏡9を配置して、往路の光路を折り曲げることもできる。また、図7に示すように、往路の光路と復路の光路との双方に、それぞれ平面鏡9、11を配置することもできる。

【0033】また、図4に示した第3実施例では、図8に示すように視野絞りBとレンズ系L<sub>p</sub>との間の光路中に平面鏡9を配置して往路の光路を折り曲げることができる。このとき、付加レンズ系L<sub>A</sub>をレンズ系L<sub>p</sub>、L<sub>N</sub>及び凹面鏡M<sub>C</sub>と共軸に設けることができるため、これらレンズ系L<sub>p</sub>、L<sub>N</sub>及び凹面鏡M<sub>C</sub>を1つの光軸に沿って1つの鏡筒に収納できるため、製造及び調整が極めて容易となる。なお、この場合、複数の鏡筒に収納しても良い。

【0034】またレンズ系L<sub>p</sub>と付加レンズ系L<sub>A</sub>との間の光路中に平面鏡11を配置して復路の光路を折り曲げることもでき、これら双方の光路のそれぞれに平面鏡9、11を配置することもできる。また、付加レンズ系L<sub>A</sub>は、必ずしもレンズ系L<sub>p</sub>、L<sub>N</sub>及び凹面鏡M<sub>C</sub>と共軸に設ける必要はなく、また付加レンズ系L<sub>A</sub>の周囲の機械的な機構の自由度を向上させるために、その一部を切り欠く形状であっても良い。

【0035】また、付加レンズ系L<sub>A</sub>を光軸方向に沿って移動可能に設けることにより、マスクM上での視野絞りBの像の投影倍率を微調整することができる。第3実施例では、付加レンズ系L<sub>A</sub>は1枚のレンズで構成されていたが、複数のレンズで構成しても良い。付加レンズ系L<sub>A</sub>を複数のレンズで構成する場合には、これら複数のレンズの間隔を相対的に可変とすれば、上記のごとき投影倍率の微調整が可能となる。この場合、例えば付加レンズ系L<sub>A</sub>を平凹レンズ、両凸レンズ及び平凹レンズの組み合わせ、あるいは平凸レンズ、両凹レンズ及び平凸レンズの組み合わせからなり全体としてアフォーカル系とし、両凸レンズまたは両凹レンズを光軸方向に可動とする構成や、平凹レンズ及び平凸レンズの組み合わせからなり全体としてアフォーカル系とし、平凹レンズ及び平凸レンズの間隔を相対的に変化させる構成などが考えられる。さらに、視野絞り投影光学系を構成する光学部材（レンズ系L<sub>p</sub>、（L<sub>N</sub>）、付加レンズ系L<sub>A</sub>、凹面鏡M<sub>C</sub>）のうち少なくとも1つの光学部材の位置を変化させることにより、被照明面としてのマスクM上での照度分布を調整することが可能となる。

【0036】また、図1に示した第1実施例では、オプティカルインテグレータとして波面分割型のオプティカルインテグレータ（フライアイレンズ4、6）を用いた

が、その代りに、内面反射型のオプティカルインテグレータ（ロッド型インテグレータ）を用いてもよい。

【0037】以下、図9を参照して、内面型のオプティカルインテグレータを用いた第4実施例について説明する。なお、説明を簡単にするために、図1と同様の機能を有する部材には同じ符号を付している。図9において、例えばL<sub>2</sub>レーザ等の光源1を発した光束は、整形光学系2を通過した後に、折り曲げミラー3を経て、円錐状屈折面または多角錐状屈折面を持つアキシコンプリズム部材Aに入射する。このアキシコンプリズム部材Aは、2つの円錐状屈折面または角錐状屈折面を有し、これらの錐状屈折面の相対的な間隔が可変であるように設けられている。アキシコンプリズム部材Aを経た光束は、変倍光学系Zを経て、集光レンズ8aにより集光される。本実施例では、変倍光学系Zは、光軸方向に沿って移動可能な複数のレンズ群からなるアフォーカル変倍光学系を採用しているが、その代りに有限の焦点距離を持つ変倍光学系を採用しても良い。

【0038】集光レンズ8aを介した光は、集光レンズ8aによる光束集光位置の近傍に光入射面が位置決めされたロッド型インテグレータ（内面反射型インテグレータ）Rに入射する。このロッド型インテグレータRは、多角柱（四角柱、六角柱等）状の棒状光学部材で構成される。この光射出面では、光入射面に入射した光束がこの内部で面反射を繰り返した後に射出されるため、あたかも光入射面の位置に複数の光源像（面光源）が形成されるように光束が射出される。このロッド型インテグレータとしては例えば特開平1-271718号公報に開示されている。

【0039】ここで、前述したアキシコンプリズム部材Aの錐状屈折面同士の間隔が実質的に0と見なせる場合には、アキシコンプリズム部材Aを通過する光束は何ら影響を受けずに変倍光学系Zへ向かう。また、アキシコンプリズム部材Aの錐状屈折面同士の間隔を0から広げると、変倍光学系Zへ向かう光束の断面形状は、円錐状屈折面の場合に輪帯状となり、多角錐状屈折面の場合には光軸から複数の放射方向へ局在した形状となる。この断面形状が変換された光束がロッド型インテグレータRへ入射すると、ロッド型インテグレータRの光入射面に形成される面光源の光強度分布は、アキシコンプリズムAからの光束の断面形状に類似した形状、すなわち円錐状屈折面を用いた場合には輪帯状、多角錐状屈折面を用いた場合には多重極状となる。ここで、変倍光学系Aによる倍率を変更することにより、輪帯または多重極状の面光源自体の大きさを変更することができる。なお、このようなアキシコンプリズムと変倍光学系とを組み合わせた照明系としては特開平5-251308号公報に開

示されアキシコンプリズムをロッド型インテグレートに組み込んだ照明系としては例えば特開平50102003号に開示されている。

【0040】さて、ロッド型インテグレートRの光射出面は、光入射面の面光源からの光束により均一照明がなされており、本実施例ではこの光射出面の近傍に所定の方向に伸びたスリット形状（長方形）の開口を持つ視野絞りBを配置する。視野絞りBを経た光束は、第1実施例と同様に、視野絞り投影光学系10と平面鏡11とを通過した後、マスクM上に伝達される。なお、本実施二においては、アキシコンプリズムA及び変倍光学系Zを用いているため、照明光学系の $\sigma$ 絞り（開口数等を変更するための絞り）は必須ではないが、視野絞り投影光学系10の凹面鏡MCの位置の近傍に $\sigma$ 絞りを配置しても良い。

【0041】マスクMのパターンを通過した光束は、主投影光学系12を介して、感光基板の感光面（被露光面）13上にパターンの縮小像を投影する。本実施例では、主投影光学系12として、マスクMの中間像を形成する屈折型光学系と、この中間像の像（マスクMの2次像）を被露光面に形成する中抜け型の反射屈折光学系とからなる2回結像型の反射屈折光学系を用いる。この主投影光学系12中の屈折型光学系内には、主投影光学系12の開口数NAを決定するための投影系可変開口絞り14が配置されている。なお、本実施例では、視野絞り投影光学系10として、図3に示した第2実施例の視野絞り投影光学系を採用している。このように、光源から視野絞りBからの光学系は、視野絞りBさえ均一に照明されていればその種類は問わない。

【0042】なお、上述の例では、ロッド型インテグレートRを光と羽化正の棒状光学部材（ガラスロッド）で構成したが、その代りに、内面に反射膜を設けた棒状の中空部材（中空パイプ）で構成しても良い。さらに上述の例において、ロッド型インテグレートRに加えて、フライアイレンズやマイクロレンズアレイ等の波面分割型オプティカルインテグレートを用いても良い。この場合、波面分割型のオプティカルインテグレートは、図9における整形光学系2と集光レンズ8aとの間の光路中に配置されることになる。

【0043】また本発明による反射屈折系の視野絞り投影光学系においては、全てのレンズ（透過性光学材料）を、単一の硝材、例えば蛍石で製造することができる。このため、硝材の種類が限定される、露光波長が170nm以下の投影露光装置の視野絞り投影光学系に使用することができる。このような短波長（真空紫外）の光源（フッ素レーザー等）を使用すると、転写できるパターンの解像度が向上し、微細パターンの転写に有利となる。

【0044】上記表1～4に示したレンズの屈折率 $n=1.56$ は、波長157nm近傍での蛍石の屈折率であ

る。これは、170nm以下の波長において、透過率が最も高く、かつ異方性が無い硝材が蛍石であるためであるが、フッ化マグネシウム、フッ化リチウム、フッ化バリウム、等の他の透過硝材があれば、透過光学部材として使用することができる。

【0045】例えば、照明光学系中の光学部材のうちで、その部分を透過する照明光束のエネルギー密度の高い部材（光束の径が小さい）に付いては、フッ化マグネシウムのように、真空紫外領域の光束に対する透過率がより高い材料を用いた方が、耐久性の点から好ましい。

【0046】また、これらの照明光学系を、全てフッ化マグネシウムとすれば、蛍石とした場合に比べ、より短波長の130nm程度までの波長に対して使用することができ、解像度の点でさらに有利になる。

【0047】また、光学系の光学部材間の空間は、酸素や、その他の不純物（水蒸気や炭化水素ガス）による吸収をさけるために、He、N<sub>2</sub>、Ne、Ar等のガスにより満たされていることが望ましい。

【0048】また、第1または第4実施例において、マスクMあるいは感光性基板13の位置を検出するためのアライメント光学系を設ける場合には、例えば、折り曲げミラー11の近傍の空間であって照明光が通過しない領域にアライメント対物系を設ける構成、折り曲げミラー11をダイクロイックミラーとして折り曲げミラー11の裏側にアライメント対物系を設ける構成、凹面鏡MCに開口部を穿つ、あるいは凹面鏡MCの反射面をダイクロイックミラーとしてその裏側にアライメント対物系を設ける構成、視野絞りBとレンズ系Lpとの間であってレンズ光が通過しない領域にアライメント対物系を設ける構成などが考えられる。

【0049】また、上述の例では、屈折光学部材の屈折面を非球面としたが、その代りに凹面鏡の反射面を非球面としても良く、また、屈折光学部材の屈折面及び凹面鏡の反射面の双方を非球面としてもよい。

【0050】さらに、上記実施例では、光源としてF<sub>2</sub>レーザを用いているが、その代りに、157nmに発振スペクトルを持つYAGレーザなどの固体レーザの高調波を用いるようにしても良い。また、DFB半導体レーザまたはファイバーレーザから発振される赤外域、または可視域の単一波長レーザを、例えばエルビウム（またはエルビウムとイットリビウムの両方）がドープされたファイバーアンプで増幅し、非線形光学結晶を用いて紫外光の波長変換した光長波を用いても良い。

【0051】例えば、単一波長レーザの発振波長を1.51～1.59 $\mu\text{m}$ の範囲内とすると、発生波長が151～159nmの範囲内である10倍高調波が出力される。特に発振波長を1.57～1.58 $\mu\text{m}$ の範囲内とすると、157～158nmの範囲内の10倍高調波、即ちF<sub>2</sub>レーザとほぼ同一波長となる紫外線光が得られる。また、発振波長を1.03～1.12 $\mu\text{m}$ の範囲内



とすると、発生波長が147～160nmの範囲内である7倍高調波が出力され、特に発振波長を1.099～1.106 $\mu$ mの範囲内とすると、157～158nmの範囲内の7倍高調波、即ちF<sub>2</sub>レーザとほぼ同一波長となる紫外線光が得られる。なお、短いつ波長発振レーザとしてはイットリビウム・ドープ・ファイバーレーザを用いる。

【0052】さて、上述の実施例は、ウエハ上の1つのショット領域へマスクのパターン像を一括して転写した後に、ウエハを投影光学系の光軸と直交する面内で移動させて次のショット領域を投影光学系の露光領域に移動させて露光を行なうステップ・アンド・リピート方式（一括露光方式）や、ウエハの各ショット領域への露光時にマスクR等エハWとを投影光学系に言い痛いて投影倍率 $\beta$ を速度比として同期走査するステップ・アンド・スキャン方式（走査露光方式）の双方に適用できる。なお、ステップ・アンド・スキャン方式では、スリット上の露光領域内で良好な結像特性が得られれば良いため、投影光学系を大型化することなく、ウエハ上のより広いショット領域似露光を行なうことができる。

【0053】ところで、投影光学系は縮小系だけでなく等倍系または拡大系（例えば液晶ディスプレイ製造用露光装置など）を用いても良い。さらに、半導体素子の製造に用いられる、デバイスパターンをガラスプレート上に転写する露光装置、薄膜磁気ヘッドの製造に用いられる、デバイスパターンをセラミックウエハ上に転写する露光装置、撮像素子（CCDなど）の製造に用いられる露光装置にも本発明を適用できる。

【0054】また、本発明は、投影光学系を用いてマスク上の回路パターンをウエハへ転写するプロキシミティか型の露光装置の照明光学系における視野絞り投影光学系として用いることもできる。なお、本発明は上述の実施の形態に限定されず、本発明の要旨を逸脱しない範囲で種々の構成を取り得ることは無論である。

【0055】

【発明の効果】本発明により、短い波長を用いる露光装置において、効率のよい露光装置を実現できる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例による投影露光装置を示す図である。

【図2】本発明の第1実施例による視野絞り投影光学系の光路を示す図である。

【図3】本発明の第2実施例による視野絞り投影光学系の光路を示す図である。

【図4】本発明の第3実施例による視野絞り投影光学系の光路を示す図である。

【図5】比較例による視野絞り投影光学系の光路を示す図である。

【図6】変形例による視野絞り投影光学系の光路を示す図である。

【図7】変形例による視野絞り投影光学系の光路を示す図である。

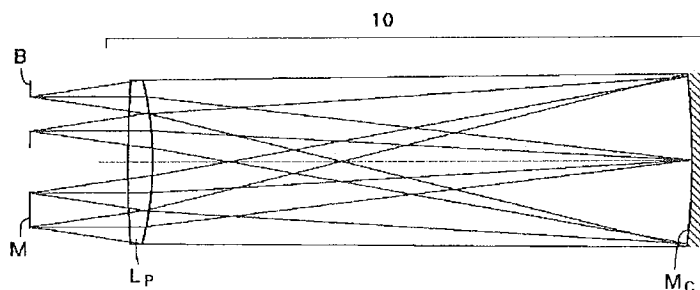
【図8】変形例による視野絞り投影光学系の光路を示す図である。

【図9】本発明による第4実施例の投影露光装置を示す図である。

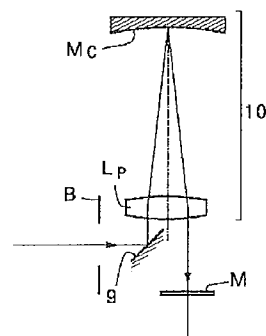
【符号の説明】

1…光源	2…整形光学系
3…折り曲げミラー	4…第1のフライアイレンズ
5…第1のコンデンサーレンズ	6…第2のフライアイレンズ
7…照明系開口絞り	8…第2のコンデンサーレンズ
9, 11…平面鏡	10…視野絞り投影光学系
12…主投影光学系	13…感光面
14…投影系開口絞り	M…マスク
Mc…凹面鏡	Lp…正レンズ
Ln…負レンズ	B…視野絞り

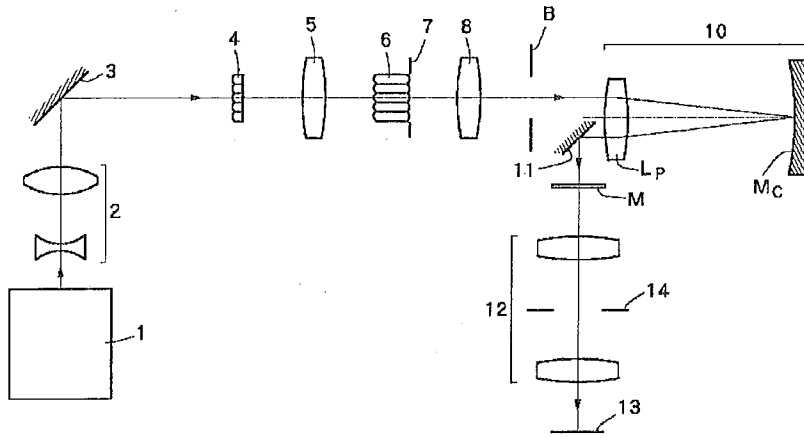
【図2】



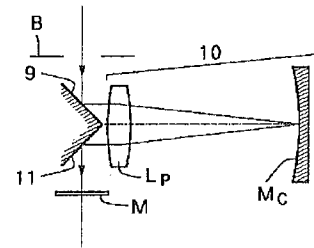
【図6】



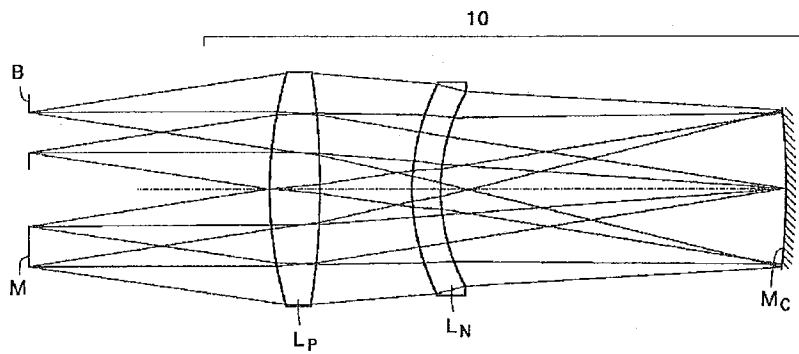
【図1】



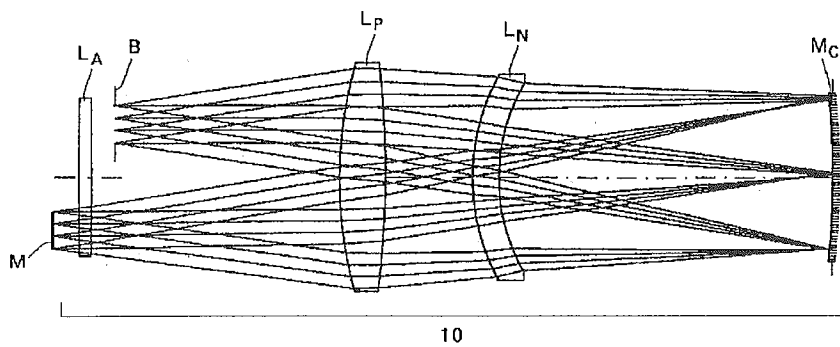
【図7】



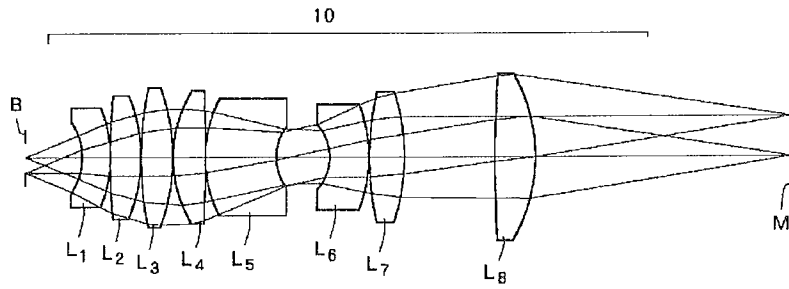
【図3】



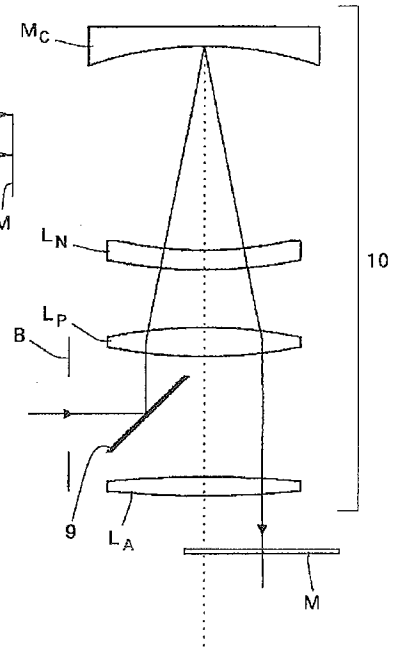
【図4】



【図5】



【図8】



【図9】

